http://dx.doi.org/10.22161/ijeab/2.4.20 ISSN: 2456-1878

Inventaireet caractérisation des bas-fonds dans le bassin versant de l'Oti au Bénin à l'aide des images Landsat et ASTER DEM

Kafilatou T. Souberou[1], K. Euloge Agbossou[2], Euloge Ogouwale[3]

[1]Département de Géographie et Aménagement du Territoire (DGAT), Faculté des Sciences Humaines et Sociales (FASHS), Université d'Abomey-Calavi (UAC), Bénin
[2]Institut National de l'Eau (INE), Faculté des Sciences Agronomiques (FSA), Universitéd'Abomey-Calavi (UAC), Bénin
[3]Département de Géographie et Aménagement du Territoire (DGAT), Faculté des Sciences Humaines et Sociales (FASHS), Université d'Abomey-Calavi (UAC), Bénin

Résumé— *Ces dernières décennies, l'exploitation des bas-fonds a considérablement augmenté en nombre et superficie en raison de la fertilité de leurs sols et de leur caractère hydromorphe. Le présent article vise à analyser le potentiel en bas-fonds au sud du bassin versant de l'Oti. L'approche méthodologique repose sur la méthode semi-automatique qui a pris en compte les indices de végétation (NDVI, NDWI, TWI) et les paramètres (pente et accumulation d'eau) générés à partir des images Landsat OLI et ASTER DEM. En outre la caractérisation des bas-fonds inventoriés a été basée sur la délimitation phytogéographique, sur les données biophysiques et socio-économiques du bassin. L'analyse multicritère réalisée a permis d'estimer la superficie des bas-fonds identifiés à 359 894,92 ha soit 44,79 % de la superficie totale de la partie sud du bassin versant de l'Oti. Environ 28698 bas-fonds aménageables couvrant une superficie de 53 588,06 ha ont été inventoriés et représentent environ 6,67 % de la superficie totale. Aussi, il est noté que 6,33 % de la superficie des bas-fonds inventoriés par la méthode semi-automatique, soit 42,52 % du potentiel en bas-fonds aménageables sont connus par les autorités locales des Communes des départements de l'Atacora et de la Donga. Au total, trois types de bas-fonds ont été ressortis après caractérisation. Il s'agit des bas-fonds des massifs atacoriens (BFMA), les bas-fonds de la pénéplaine ondulée (BFPO) et les bas-fonds de la plaine gourma (BFPG). L'exploitation rationnelle de ces bas-fonds est devenue inévitable compte tenu des nécessités actuelles et pour les perspectives agricoles futures.*
Mots clés— Bassin versant de l'Oti, bas-fond, cartographie, caractérisation.

Abstract— *These last decades, the exploitation of the inlands valleys increased considerably in number and surface because of the fertility of their soils and their hydromorphycharacter. The present article aims to analyze the potential in inlands valleys in the south of the Otibasin pouring. The methodological approach rests on the semiautomatic method that took in account the indications of vegetation (NDVI, NDWI, TWI) and the parameters (slope and accumulation of water) generated from the pictures Landsat OLI and ASTER DEMS. Besides the characterization of the inland valley inventoried has been based on the cutoff phytogeographical, on the biophysical and socioeconomic data of the basin. The achieved analysis multi criteria permitted to estimate the surface of the inlands valleys identified to 359 894,92 ha is 44,79% of the total surface of the south part of the Oti basin pouring. About 28698 flexible inlands valley covering a surface of 53 588,06 ha have been inventoried and represent about 6,67% of the total surface. Also, it is noted that 6,33% of the surface of the inlands valley inventoried by the semiautomatic method, either 42,52% of the potential in flexible inlands valleys are known by the local authorities of the Townships of the departments of the Atacora and the Donga. To the total, three types of inlands valleys came out again after characterization. It is about the inlands valleys of the massive atacoriens (BFMA), the inlands valleys of the wavy peneplain (BFPO) and the inlands valleys of the gourmaplain (BFPG). The exploitation rational of these shallows became unavoidable considering the present necessities and for the future agricultural perspectives.*
Keywords— Oti basin pouring, inland valley, inventory, cartography, characterization.

I. INTRODUCTION

Ces dernières décennies, l'exploitation des bas-fonds a considérablement augmenté en nombre et en superficie, en raison de la fertilité de leurs sols et de leur caractère hydromorphe. Cesbas-fonds constituent alorsdes surfaces de très grand intérêt dans ce environnement marqué par la

variabilité climatiques et les mutations des modes d'utilisation des terres agricoles (Souberou et *al.*, 2016).

Dans les pays en développement,il est noté un déplacement du front des activités agricoles de plus en plus vers les milieux hydromorphes (plaines inondables, bas-fonds, vallées), selon Mahaman et Windmeijer (1995). Ainsi, les écosystèmes des bas-fonds se sont révélés comme un ensemble de ressources dont la mise en valeur devient une nécessité impérieuse pour le développement, l'intensification et la diversification de la production agricole (Oloukoi, 2005). Ils sont doncun enjeu pour le développement durable de l'agriculture notamment pour un pays comme le Bénin.

La mise en valeur des bas-fonds revêt un intérêt important et est devenu un enjeu majeur du développement agricole afin de réduire les contraintes hydriques (Souberou et *al.*,2016). Or, la mise en valeur des bas-fonds exige une connaissance du potentiel disponible à travers leur spatialisation. Maisle niveau de connaissance du potentiel en bas-fonds du Béninen particulier du sud du bassin versant de l'Oti, malgré les inventaires nationaux par approche de terrain des bas-fonds, est faible. C'est en ce sens que leur inventaire par une autre méthode d'inventaire et leur caractérisation sont l'une des priorités de cette décennie afin de disposer d'une source d'information systématique sur les écosystèmes de bas-fonds.

A cet égard, les images de la télédétection, par le caractère homogène, synoptique et répétitif des observations, constituent une source d'informations particulièrement bien adaptée (Lebaut et Manceau, 2015). De nombreux travaux ont utilisés ces données et le Système d'Information Géographique dans l'identification des zones humides, la caractérisation de leurs différents habitats, et ceci à différentes échelles et analyses (Houhoulls et Hills, 2000 ; Memoris, 2011 ; Rapinel, 2012 ; Souberou, 2013, Thenkabail, 2013). La méthode semi-automatique a été appliquée dans la plupart de ces travaux qui ont recours aux images satellitaires de différentes résolutions (moyennes, hautes) et ceux-ci en fonction des objectifs des études.

La spatialisation des zones humides en utilisant les informations spatiales et spectrales reste un aspect très peu abordé dans les études déjà réalisées au Bénin.La plupart de ces travaux sont réalisés par des projets /programmes et timidement par des recherches scientifiques. C'est le cas de Chabi et *al.*,2010 et de Souberou et *al.*, 2016 qui ont fait respectivement la cartographique des bas-fonds au centre et au nord-ouestdu Bénin en utilisant une approche multidimensionnelle combinant les données de la télédétection, leSystème Information Géographique et les informations issues des investigations de terrain. Ces auteurs pensent que les résultats issus de la validation de cette méthode d'identification des bas-fonds est fiable que la technique d'inventaire de terrain. L'objectif de la présente étude est de cartographier le potentiel en bas-fonds au sud du bassin versant de l'Oti. Il s'agira d'inventorier les bas-fonds pour en donner un aperçu exhaustif et de les caractériser en utilisant la délimitation phytogéographique et les données biophysiques.

II. CADRE GEOGRAPHIQUE DE L'ETUDE

Le champ d'étude est une portion du bassin hydrographique de la volta (BHV) qui s'étend sur le territoire de la République du Bénin. Cette portionest précisément située dans le bassin versant de l'Oti (WHYCOS, 2006). Situé au nord-ouest du Bénin, il est à cheval sur les départements de l'Atacora et de la Donga et occupe 47,20 % de sa superficie totale du bassin versant de l'Oti au Bénin (figure 1). Elle est comprise entre 09°19'6'' et 10°54'8'' de latitude nord d'une part et 0°45'34'' et 1°41'48'' de longitude est d'autre part. Administrativement, on y retrouve entièrement les Communes de Boukoumbé, de Cobli, de Ouaké et une partie des Communes de Bassila, de Copargo, de Djougou, de Kouandé, de Matéri, de Natitingou, de Tanguiéta et de Toucountouna.

http://dx.doi.org/10.22161/ijeab/2.4.20 *ISSN: 2456-1878*

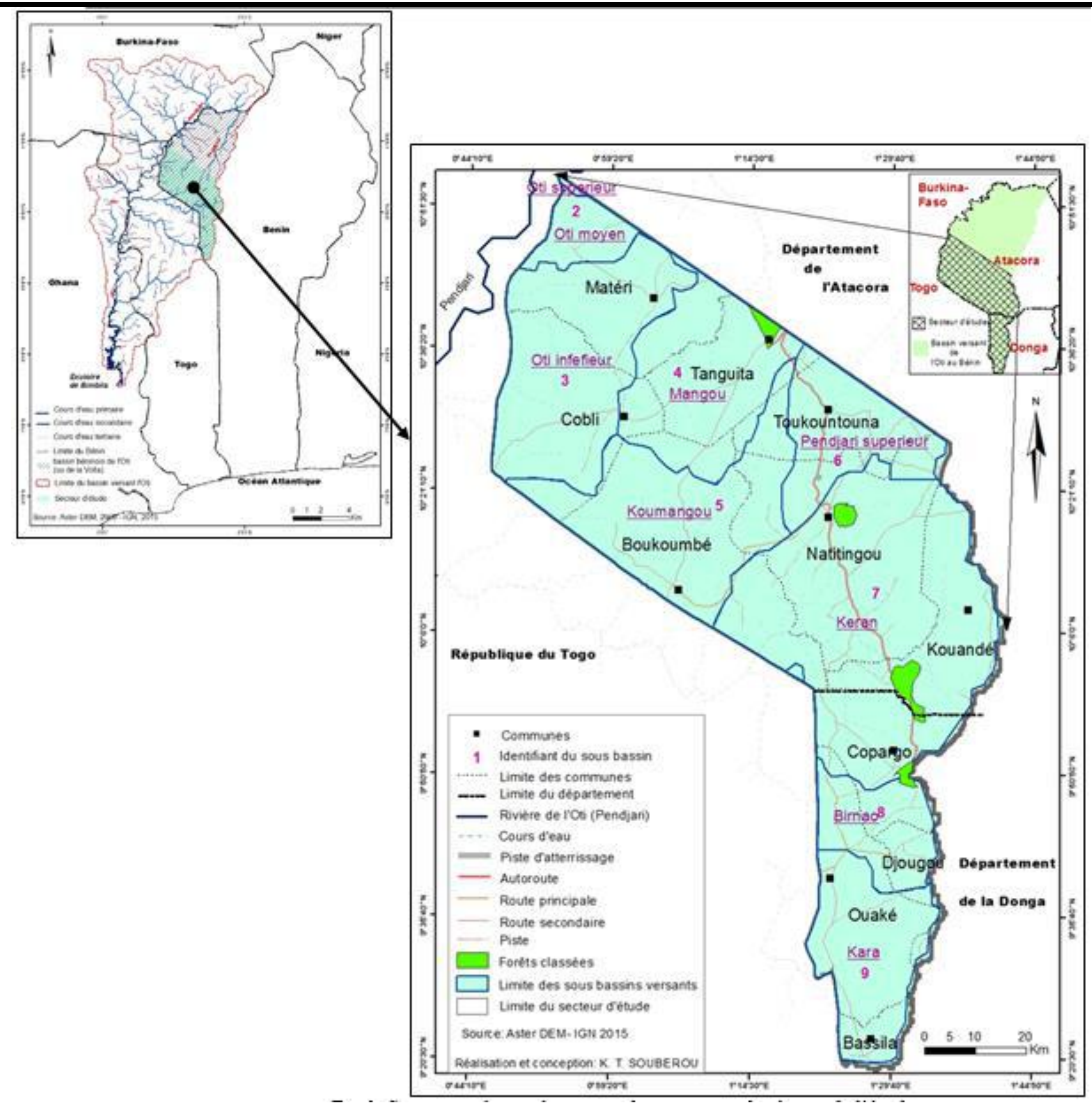


Fig.1: Situation géographique et administrative du champ de l'étude

La géologie bâtie sur le socle sédimentaire précambrien de la volta (OBEMINES, 1989) est constituée de formations cristallines et sédimentaires d'origine plus récentes présentant une orientation générale NNE – SSW. La géomorphologie fortement liée à la structure géologique révèle du fait de l'orographie la présence d'un nombre important de zones humides. Trois grandes unités morphologiques caractérisent la partie. Il s'agit de la chaîne de l'Atacora, de la pénéplaine et de la plaine de Gourma. Le relief est accidenté avec des altitudes s'échelonnant entre 118 et 667 m (Modèle Numérique d'Altitude du milieu d'étude, ASTER DEM, 2007).

Le climat est de types soudanien et guinéo-soudanien qui s'intègrent dans celui de l'Afrique de l'Ouest (Adjanohoun et *al.,* 1989). Il est caractérisé par deux grandes saisons : une saison pluvieuse (mai à octobre) et une saison sèche (novembre à avril). Les précipitations annuelles se situent entre 967 et 1255 mm. Le nombre de jours pluvieux au nord-ouest varie de 60 à 70 jours (Ouorou Barre, 2014).La température moyenne est d'environ 27, 35° C avec les variations de 17° C à 36° C avec une amplitude thermique annuelle de l'ordre de 18°C (Idiéti, 2012 ; Ouorou Barre, 2014). Au regard de ces facteurs climatiques surtout des hauteurs de pluies, le champ de recherche est bien arrosée et le réseau hydrographique est dense. Neuf sous bassins versants sont identifiés dans la partie sud du bassin versant de l'Oti au Bénin. Il s'agit des unités de gestion des ressources en eau (Birnao, Kara, Kéran, Koumangou, Mangou, Oti inférieur, Oti moyen, Oti supérieur et Pendjari) drainées par les affluents de la rivière Pendjari (qui devient Oti au Togo) et puis de quelques autres affluents de l'Oti (Kéran

http://dx.doi.org/10.22161/ijeab/2.4.20 ISSN: 2456-1878

et Kara) qui prennent leurs sources au pied de la chaine de l'Atacora.

Trois (03) grands ensembles édaphiques sont rencontrés dans le secteur d'étude. Il s'agit des sols minéraux bruts, des sols ferrugineux tropicaux et des sols ferralitiques (Ouorou Barre, 2014). Par contre, le couvert végétal est marqué par la présence d'une gamme variée de formations végétales notamment denses, galeries, claires, boisées, arborées, arbustives et des mosaïques de cultures et jachères. Cette végétation est en dégradation croissante suite aux pressions agricoles et humaines (Traitement de l'image Landsat OLI TIRS, 2015).

La population, estimée à 723 762 habitants selon le RGPH 4 (INSAE, 2014) présente une diversité socio-culturelle constituée de 32 ethnies qui cohabitent et œuvrent pour le développement du bassin versant de l'Oti au Bénin.Cette forte hétérogénéité sociale de la population est toujours en quête des terres fertiles pour l'agriculture (principale activité). Elles interviennent toutes dans la valorisation des bas-fonds constituant un palliatif aux variabilités climatiques.Il est noté que le nombre de ménages agricoles est passé respectivement de 38041 en 1992 (RGPH2), à 63781 en 2002 (RGPH3) et à 93272 en 2013 (RGPH4). Ainsi, l'effectif des ménages agricoles a connu une forte augmentation ces deux dernières décennies (1992 à 2013) due à l'agrandissement des ménages et par conséquent une multiplication de la main d'œuvre familiale.

III. DONNEES ET METHODES D'ETUDE

3.1 Données

Les données suivantes ont été utilisées dans le présent travail :

- une scène d'image satellite Landsat OLI TIRS ortho rectifiées respectivement du 16décembre2015 avec une résolution de 30 m et une image satellite ASTER DEM de 2000, améliorée le 26 juin 2009 avec une résolution de 30 m (ces données sont acquises à partir des sites web de l'université de Maryland dans le cadre du projet Global Land CoverFacility (GLCF, http://glcfapp.glcf.umd.edu:8080/esdi/) et United States Géological Survey (USGS, http://earthexplorer.usgs.gov/);
- une carte topographique, feuilles de Sansanné-Mango, de Natitingou et de Djougou au 1/200 000 ;
- la carte générale du Bénin au 1/600 000 (IGN France, 1960 ; IGN France et IGN Benin, 2000) montrant les limites des communes du Bénin ;
- la carte des subdivisionsphytogéographiques du Bénin à l'échelle de 1/600 000
- la carte géologique à l'échelle de 1/600 000 qui date des années 1976 :
- les cartes des unités pédologiques des années 1960 (les feuilles de Djougou et Natitingou au 1/200 000) couvrant le secteur d'étude;
- les statistiques climatologiques (précipitations, températures) obtenues à l'Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne en Afrique et à Madagascar ;
- des points de géolocalisation par GPS (Global Positioning System) des bas-fonds exploités dans le secteur d'étude ;
- les types d'aménagements hydroagricoles mis en place dans les bas-fonds ont été appréhendés à partir des observations directes sur le terrain.

3.2 Traitement des données et analyse des résultats

La méthode de traitementdes données comporte des étapes successives qui ont conduire à l'inventaire des bas-fonds au sud du bassin versant de l'Oti et à leur caractérisation. L'approche d'inventaire des bas-fonds repose essentiellement sur l'exploitation des images LandsatOLI TIRS (2015), ASTER DEM (2000) et de la carte topographique.

3.2.1 Génération des indices et des paramètres d'identification des bas-fonds

L'étude d'identification des bas-fonds par la méthode semi-automatique implique la définition d'un certain nombre d'indices calculés à partir des bandes (2, 3 et 4) de l'image OLI TIRSet la détermination du niveau d'ondulation et les zones potentielles d'accumulation d'eau au sud du bassin versant de l'Oti à partir de l'image ASTER DEM. Elle s'est basée sur la combinaison et la superposition des critères établis à partir du NDVI (NormalizedDifferenceVegetation Index), du NDWI(NormalizedDifference Water Index), du TWI (Tasseled-cap Wetness Index), de la pente et des zones d'accumulation d'eau. Le tableau 1 présente l'étendue et les valeurs retenues pour les indices et paramètres considérés comme critères d'identification.

Tableau.I: Indices et paramètres d'identification des bas-fonds

	Indices et paramètres	Etendue	Valeur retenue
1	Normalized Différence Vegetation Index(NDVI) Rouse et al., 1974	-1 à +1	-0,045 à 0,373

2	Normalized Difference Water Index (NDWI) McFeeters, 1996	-1 à +1	-0,15 à 0
3	Tassseled-cap Wetness Index (TWI) Crist Cicone, 1984	0 à 100 %	0 à 30
4	Pente	0 à 100 %	inférieur ou égal à 2 %
5	Accumulation d'eau	7 à 1728	7 à 583,80

Source :*Souberou et al., 2013 et Thenkabail 2013*

La classification des indices de végétation est basée sur les résultats des travaux de Davranche (2008), de Djaufack (2011), de Leroux (2012), Souberou (2013) et Thenkabail (2013) pour ressortir les valeurs qui ont permis l'identification des zones de végétation des bas-fonds par rapport aux unités d'occupation du sol. Ensuite, les pentes obtenues ont été reclassifiée en tenant compte des normes établies pour le Diagnostic Rapide de Pré-Aménagement (DIARPA), (Legoupil et*al.,* 2000 ; Jamin*et al.,* 2002 ; Chabi et *al.,* 2010), qui considère un aménagement de bas-fond techniquement et économiquement viable si les pentes sont inférieures ou égales à 2 %. Enfin, les zones d'accumulation d'eau obtenues ont été classifiéessur la base d'une interprétation de la plage des valeurs du plus petit au plus grand (CETE Nord-Picardie, 2009).

3.2.2 Extraction des bas-fonds et validation des résultats

Les opérations booléennes du logiciel Arc GIS ont été utilisées pour superposer des informations précédemment obtenues en format vecteur. Le résultat issu de l'intersection des critères d'identification, a servi à ressortir les bas-fonds aménageables dont la superficie est inférieure ou égale à 25 hectares selon le Diagnostic Rapide de Pré-Aménagement (Jamin, et *al.*, 2002).

Le résultat d'inventaire obtenu a été croisé avec une carte de référence des zones de bas-fonds réalisée à partir de relevés de terrain (levés GPS). Cette superposition des points des bas-fonds échantillonnés sur les bas-fonds inventoriés a permis de valider l'approche d'inventaire utilisée dans cette étude et de vérifier l'efficacité à partir de l'estimation du taux de zones humides de bas-fonds correctement détectées.

Les bas-fonds trackés ont permis de calculer le taux de conformité. Ce taux de conformité a permis d'évaluer quantitativement la qualité des résultats d'inventaire par approche automatique par rapport aux bas-fonds digitalisés sur le terrain (Kindjinou, 2013). Ce taux indique le niveau de fiabilité de l'approche utilisée. Il est calculé par la formule **T = n x 100 / N** (**n** est le nombre de pixels inclus «bas-fond digitalisé» obtenu après superposition des pixels des bas-fonds trackés sur ceux dérivés du traitement numérique ; et **N** est le nombre total de pixels de chacun des bas-fonds digitalisés) et permet d'évaluer la conformité en pourcentage.

La figure2illustre la procédure d'identification des bas-fonds au sud du bassin versant de l'Oti par traitement des images satellitales et des données de terrain.

3.2.3 Caractérisation des bas-fonds identifiés

La caractérisation des bas-fonds inventoriés s'est basée sur (i) la délimitation phytogéographique qui décompose la zone d'étude en deux (zone soudanienne et zone guinéo-soudanienne selon la classification d'Adjanohoun et *al.*, (1989) et de Houinato et *al.*, (2000) respectant la trilogie (climat-végétation-flore) et (ii) des caractères morphologiques (niveau d'ondulation) générés à partir de l'image ASTER DEM pour classer les bas-fonds au sud du bassin versant de l'Oti. Les informations issues des cartes hydrologique, géologique, pédologique et les données de terrain ont permis de faire une description et une analyse comparative qui sont fondamentales dans l'identification des types d'aménagements hydroagricoles appropriés des bas-fonds selon CBF (1995).

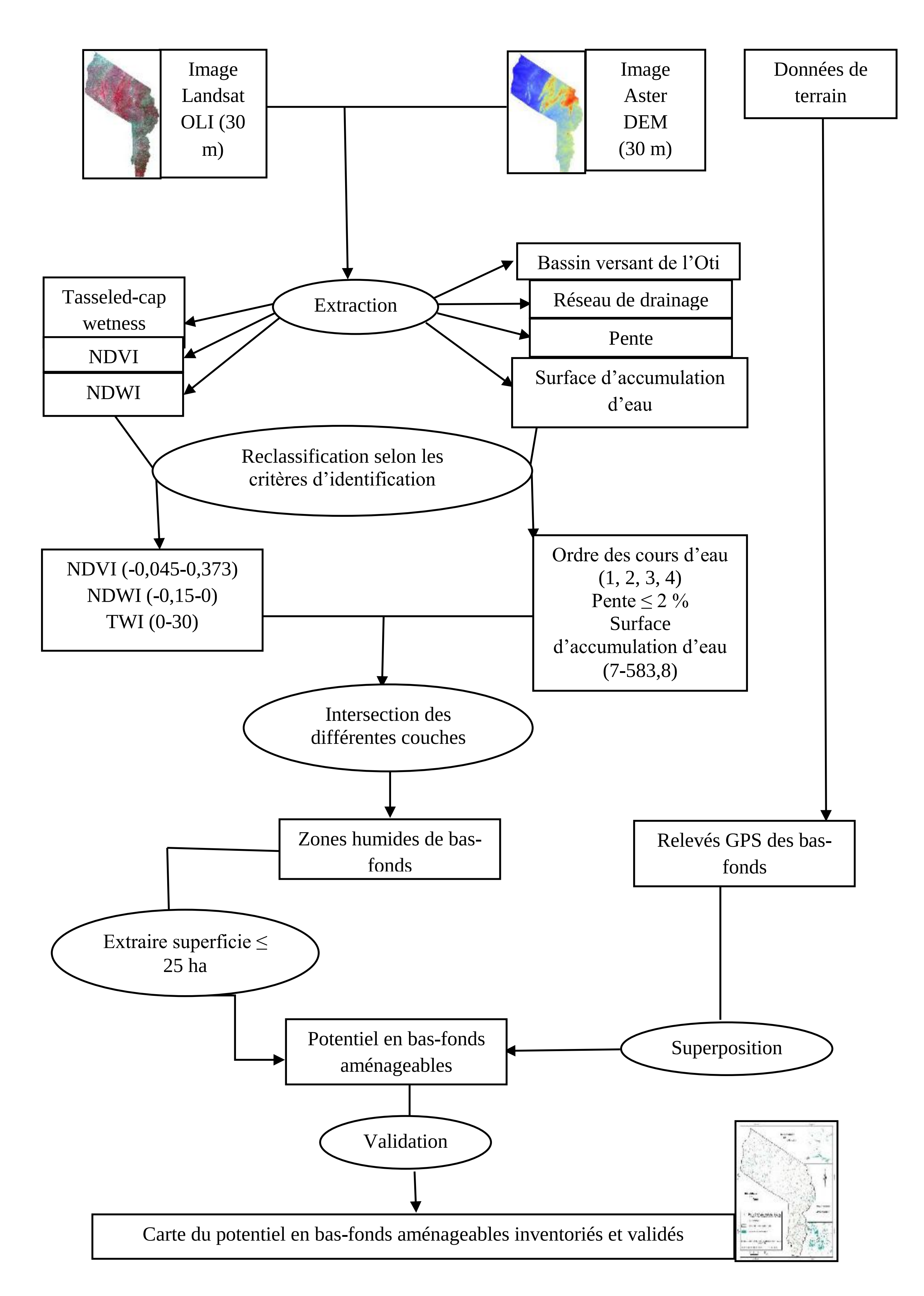


Fig.2 : Approche supervisée d'inventaire des bas-fonds aménageables

http://dx.doi.org/10.22161/ijeab/2.4.20 ISSN: 2456-1878

IV. RESULTATS

La démarche méthodologique développée a permis de faire une analyse des indices et des paramètres ayant servi à ressortir le potentiel en bas-fonds au sud du bassin versant de l'Oti

4.1 Analyse des indices et paramètres d'identification des bas-fonds

4.1.1 Indices de végétation

Les indices de végétation calculés à partir de l'image Landsat OLI TIRS ont permis de décrire l'activité chlorophyllienne et de suivre la végétation des bas-fonds en période sèche dans le secteur d'étude. Elles ont permis de faire une discrimination des différents couverts végétaux à travers les valeurs estimées et de montrer les endroits fortement humides. De même, ces indices ont permis de mettre en évidence la présence des surfaces d'eau libre.

Considérant le NDVI par exemple, une forte réflectance de la végétation (forêt dense, forêt claire) est notée dans les endroits qui abritent un relief peu accidenté ou accidenté (0,373-0,791). Une dominance de la formation savane est montrée par la valeur comprise entre -0,045 et 0,373 avec un degré important d'humidité au sol (figure 3).

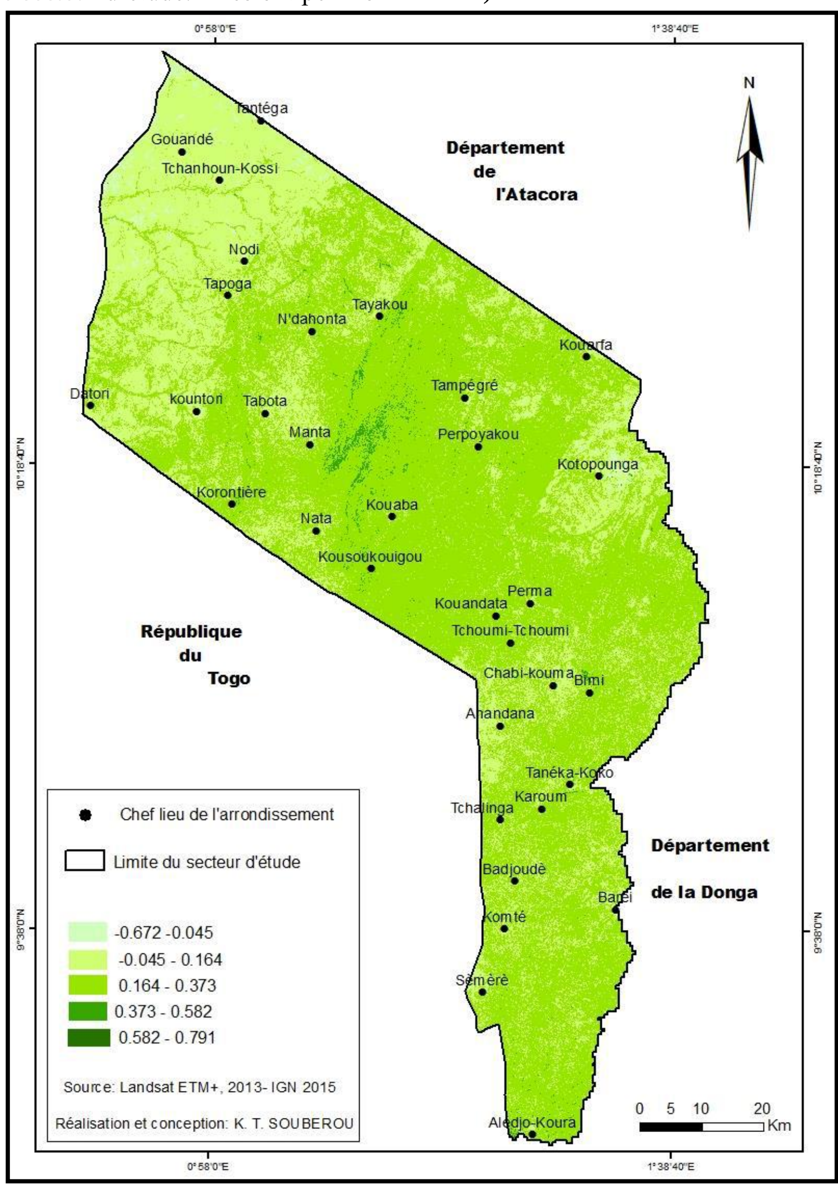


Fig.3: Indice de végétation normalisé de décembre 2015 de la zone d'étude

La valeur de l'indice de végétation au sud du bassin de l'Oti oscille entre -0,672 et 0,791. La valeur du NDVI comprise entre -0,045 et 0,373 indique la réflectance d'une zone de savane, végétation caractéristique des bas-fonds. Par contre, le calcul du NDWI a permis d'estimer la teneur en eau du feuillage du couvert végétal, qui est compris entre -0,15 et 0 pour les bas-fonds, et ceci en saison sèche.

4.1.2 Niveau d'ondulation du relief

Les pentes du secteur d'étude sont extraites du Modèle Numérique de Terrain (MNT) qui montre les différentes facettes topographiques (endroits élevés ou bas) ainsi que les grands axes de drainage (sens de l'écoulement) des eaux au sud du bassin versant de l'Oti. Elles varient de 0 à 100 % et indiquent la présence des ondulations de terrain qui contribuent à la mise en place des bas-fonds. La pente des bas-fonds est faible et doit être inférieure ou égale à 2 % (Legoupil et *al.*,2000 ; Jamin et *al.*, 2002 ; Chabi et *al.*, 2010 ; Rapport PASA, 2009-2011 ; Souberou, 2013) pour faciliter la mise en place des ouvrages d'aménagements hydroagricoles, techniquement intéressants et économiquement rentables.

Une reclassification des pentes a permis de dégager celles inférieures ou égales à 2 % (figure 4)

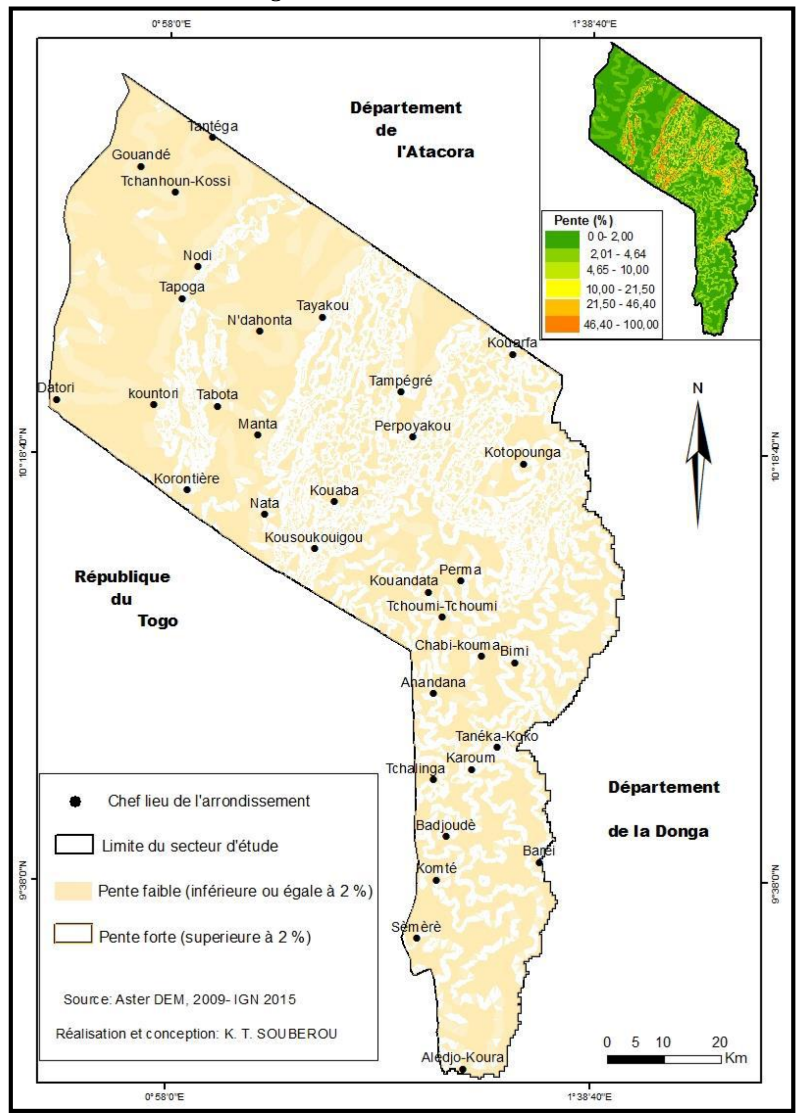


Fig.4: Reclassification des pentes au sud du bassin versant de l'Oti

La reclassification des pentes a permis de distinguer une large plaine au nord-ouest, c'est la plaine de Gourma riche en bas-fonds.

4.1.3 Zones d'accumulation d'eau

Les zones d'accumulation d'eau sont générées à partir de la carte de la direction des flux (écoulement) et considérées comme des surfaces sur lesquelles l'eau stagne pendant un moment avant toute infiltration ou écoulement vers les cours d'eau temporaires (drains). La valeur des surfaces d'accumulation d'eau varie de 7 à 1728 et indique le degré de réception des eaux provenant des versants proches par la surface (figure 5).

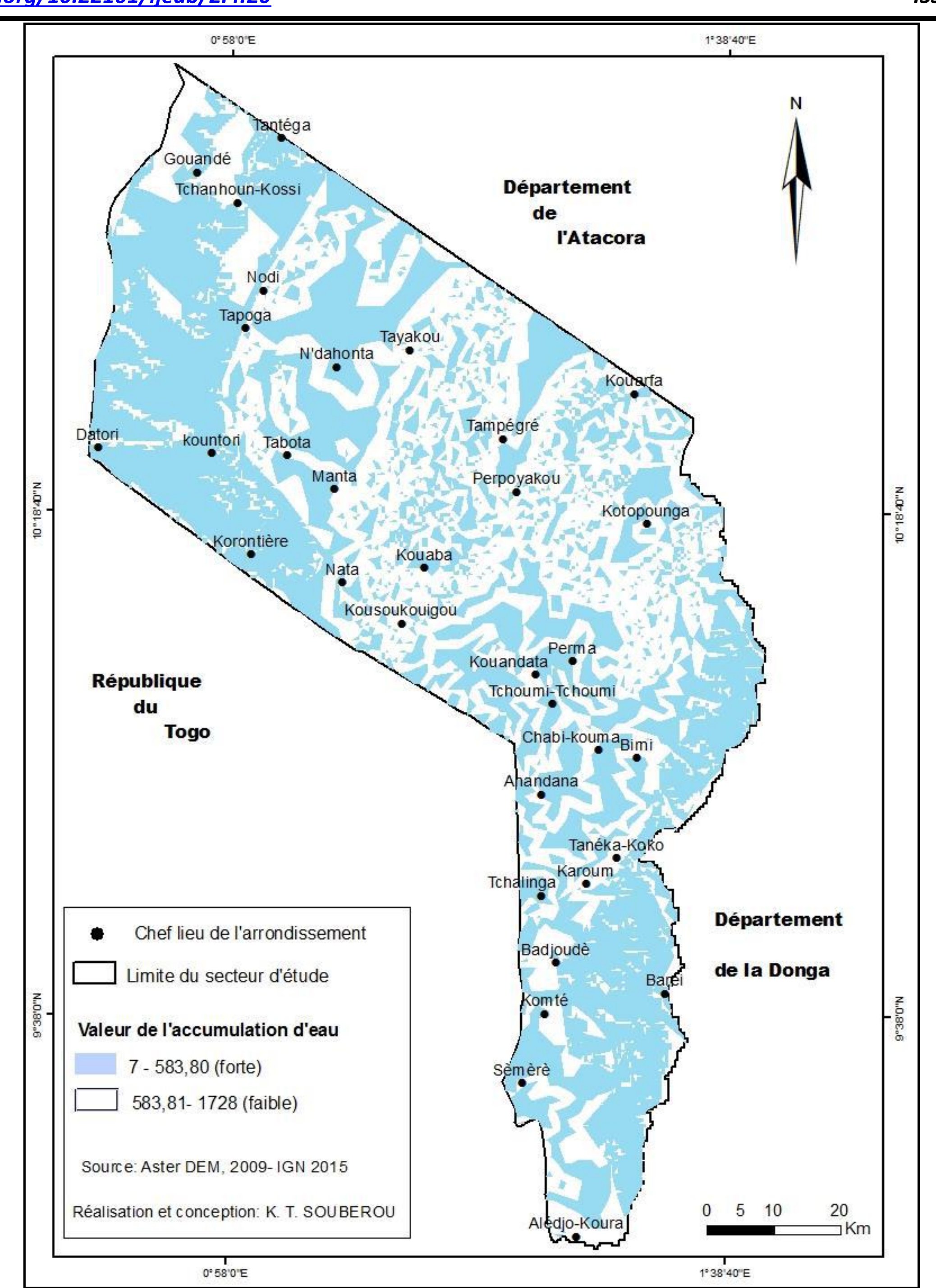


Fig.5: Surfaces de forte accumulation d'eau au sud du bassin versant de l'Oti

La valeur allouée à chaque surface de forte accumulation d'eau au sud du bassin versant de l'Oti détermine si l'accumulation de l'eau est faible ou forte. Elle constitue un indicateur dans la réalisation des plans d'aménagement en vue d'une maîtrise totale de la dynamique de l'eau. Les surfaces de la zone d'étude susceptibles de disposer d'une quantité importante d'eau (forte accumulation) en saison sèche ont été extraites.Aurousseau et Squividant (1995) soulignent que ce paramètre est performant pour modéliser les zones humides ou hydromorphes(bas-fond fond de vallée, cours d'eau, mare, etc.) et que le potentiel de saturation augmente avec sa valeur.

4.2 Zones potentielles en bas-fonds sur la base des requêtes spatiales

L'analyse multicritère des indices et paramètres de sélection des zones de bas-fonds préalablement établi à travers une superposition booléenne (intersection, union) a permis de ressortir le potentiel en bas-fonds au sud du bassin versant de l'Oti (figure 6). L'ordre du réseau de drainage hydrographique a été pris en compte.

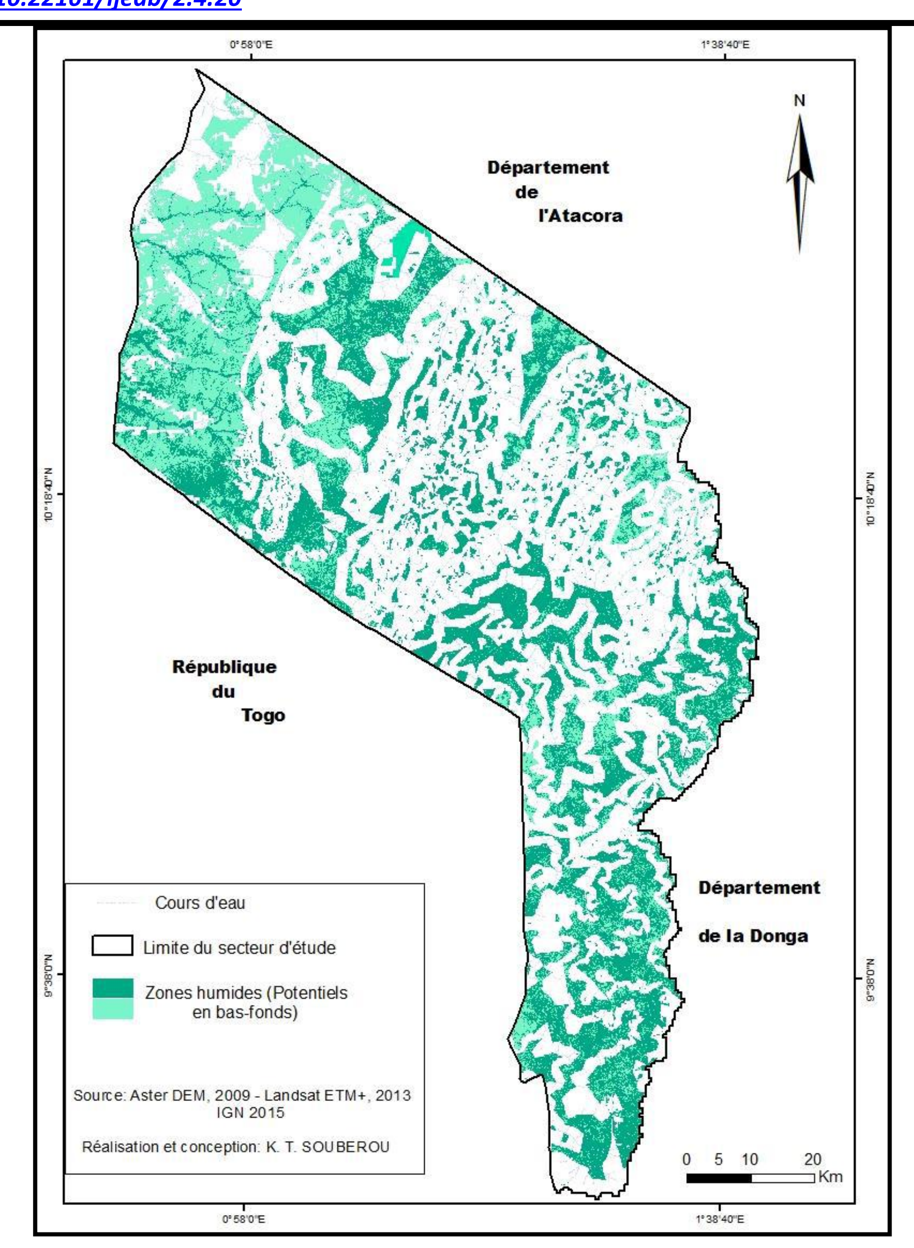


Fig.6: Zones potentielles de bas-fonds au sud du bassin versant de l'Oti

Lazone d'étude est pourvue en bas-fonds couvrant une superficie de 359 894,92 hectares (3 598,95 km²) soit 44,79 % de la superficie totale. Il découle de l'examen de cette carte que le sud du bassin versant de l'Oti dispose de grandes étendues humides.

4.3 Potentiel en bas-fonds aménageables

4.3.1 Statistiques des bas-fonds aménageables

La sélection des bas-fonds aménageables est basée sur le concept tel que défini par le Diagnostic Rapide de pré-aménagement (DIARPA) comme zones dépressionnaires situées en amont du réseau hydrographique et dont la superficie est inférieure ou égale à 25 ha (Legoupil et *al.*, 2000 ; Jamin et al., 2002 ; Chabi et *al.*, 2010 ; Souberou, 2013). La figure 7 présente les résultats après la requête spatiale.

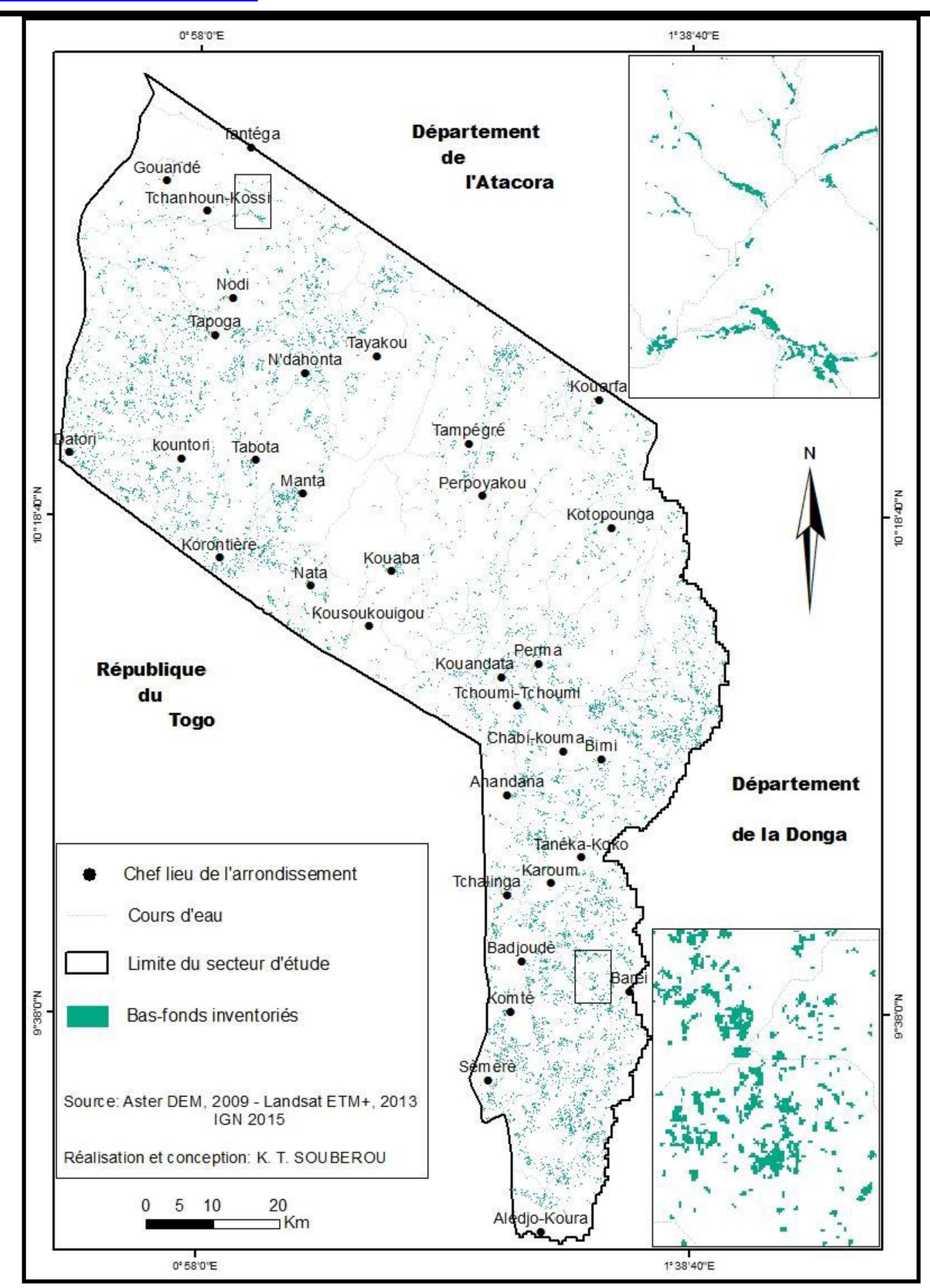


Fig.7: Bas-fonds aménageables inventoriés en aval du bassin versant de l'Oti au Bénin

Le sud du bassin versant de l'Oti est pourvu de 28698 bas-fonds facilement aménageables ayant une superficie inférieure ou égale à 25 ha (figure 7). Ils couvrent une superficie de 53 588,06 hectares (535,88 km² ~ 536 km²), soit 14,89 % de la superficie totale des zones humides du secteur d'étude. Ce potentiel de bas-fonds aménageables représente environ 6,67 % de la superficie totale de la zone d'étude.

4.3.2 Validation des bas-fonds inventoriés par analyse multicritère

Les résultats issus de l'approche de cartographie des bas-fonds ont été validés par superposition des relevés GPS (points) des bas-fonds exploités (aménagés ou non) pris sur le terrain sur ceux inventoriés par traitement d'images satellitales (figure 8). Suite à une requête d'intersection des deux couches, 271 sur les 326 points projetés correspondent aux bas-fonds aménageables inventoriés, soit un taux de conformité de 83,13 %. La proportion élevée de bas-fonds inventoriés et validés a permis de confirmer les critères d'inventaire par traitement numérique des images (indices et paramètres d'indentification dans cette étude).

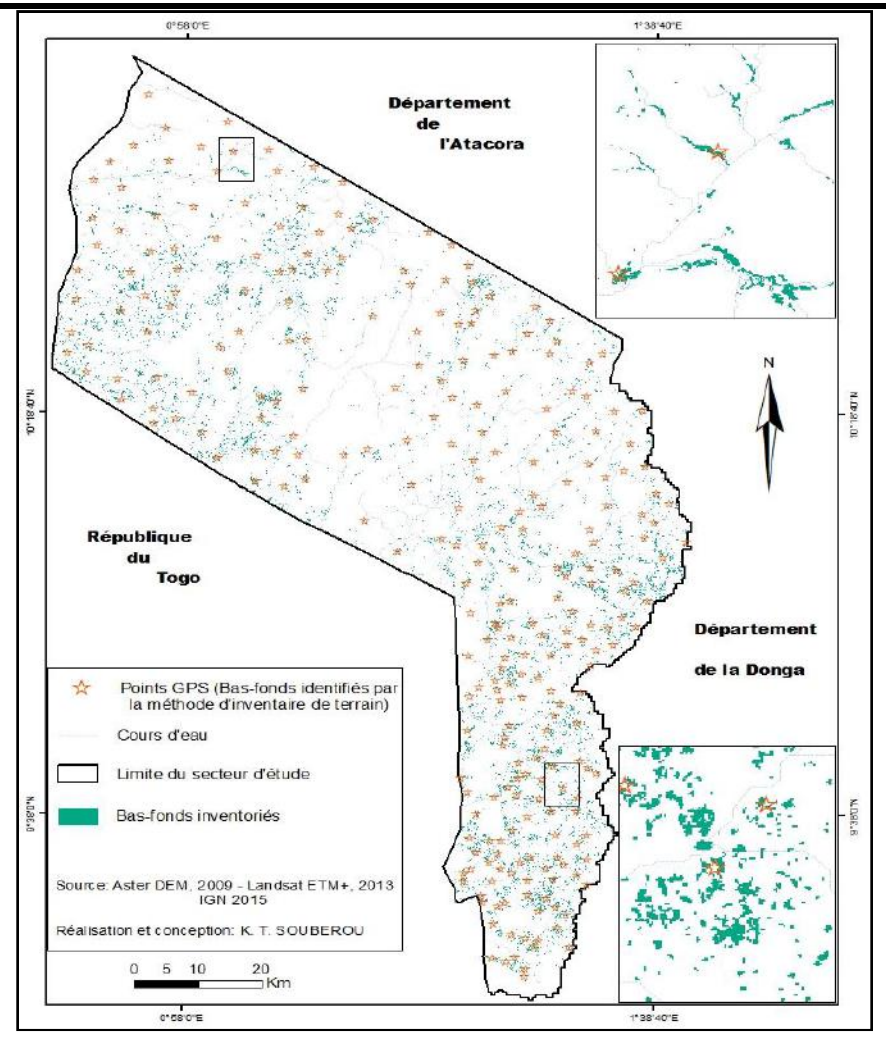


Fig.8: Validation des bas-fonds inventoriés par les relevés GPS collectés sur le terrain

Les points GPS des bas-fonds relevés sur le terrain se sont bien superposés aux bas-fonds inventoriés par méthode de traitement des images satellitales (figure 8).

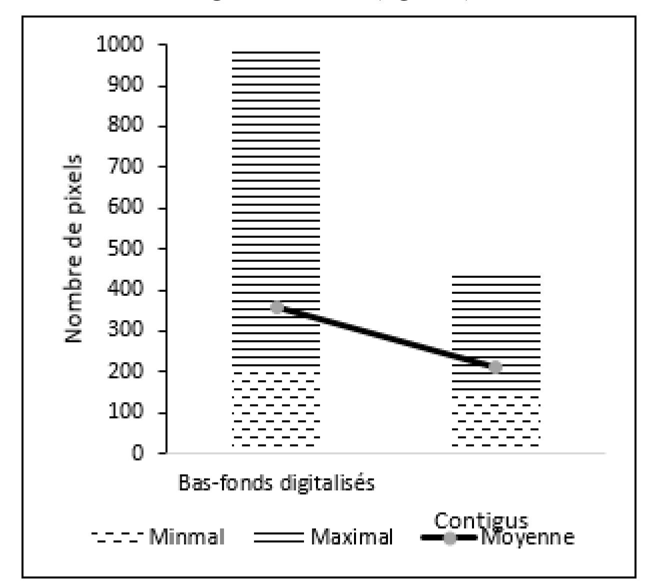


Fig.9: Distribution des pixels des soixante-quatorze bas-fonds trackés

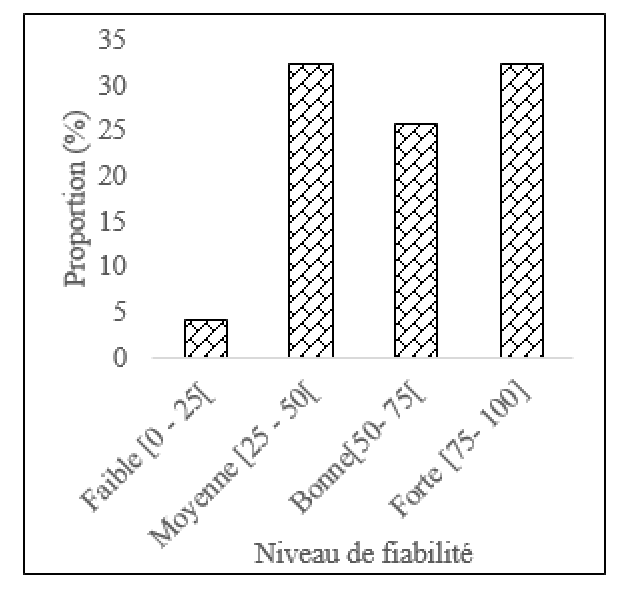


Fig.10: Niveau de fiabilité des taux de conformité par bas-fonds digitalisés

La deuxième méthode de validation des bas-fonds inventoriés par calcul du taux de conformité, a consistée à

la rastérisation des bas-fonds trackés et des bas-fonds inventoriés (figure 9) en tenant compte de la résolution spatiale de 30 m (pas pour la grille de sortie). Les deux couches rasters (bas-fonds digitalisés et inventoriés) ont permis de regrouper les pixels contigus (figure 10) afin de vérifier l'exactitude des bas-fonds inventoriés par méthode de traitement.

L'analyse comparative de la figure 9révèle que :

- le nombre de pixels des bas-fonds trackés varie entre 214 à 778 avec une moyenne de 357 et un écart type de 157 ;
- les pixels contigus, varient de 152 à 282 avec une moyenne de 210 pixels contigus et un écart type de 22 ;
- le coefficient de corrélation entre le nombre de pixels des bas-fonds explorés sur le terrain (N) et le nombre de pixels contigus (n) est de 0,5868 (58,68 %) pour l'ensemble des bas-fonds trackés. Ce taux a permis d'affirmer que le niveau de fiabilité des résultats est bon et que les bas-fonds pris individuellement donnent des résultats satisfaisants (figure 10).

De l'analyse de la figure 10, il ressort que 4,05 % des bas-fonds digitalisés ont une faible fiabilité que 32,43 % ont une forte fiabilité et que la plupart des bas-fonds inventoriés ont une moyenne fiabilité.

4.3.3 Situation actuelle des bas-fonds inventoriés par la méthode de terrain

Dans le cadre de la mise en place d'un atlas des bas-fonds des départements de l'Atacora, du Couffo, de la Donga et du Mono, l'Organisation Non Gouvernementale Internationale "Protos" et la Coopération Technique Belge ont conjugué leurs efforts pour géo référencer la plupart des bas-fonds au cours de la période 2015-2016 à l'aide des outils de Akvo flow ainsi qu'à leur caractérisation. La base de données extraite de la plateforme a permis de cartographier les bas-fonds. Le potentiel en bas-fonds inventoriés dans les départements de l'Atacora et de la Donga est estimé à 36 264 ha (figure 11).

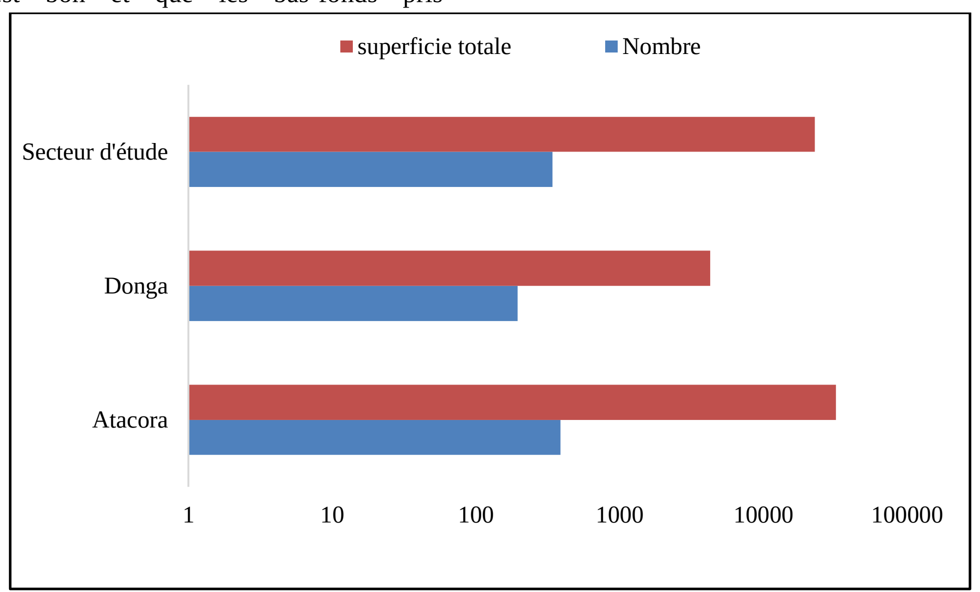


Fig.11: Potentiel en bas-fonds inventoriés par la méthode d'inventaire de terrain

Le potentiel en bas-fonds par département et au sud du bassin versant de l'Oti (nombre de bas-fonds ainsi que leur superficie) est présenté au figure 11. Il en ressort que le secteur d'étude est pourvu en bas-fonds occupant une superficie de 22 786 ha soit 62,83 % la superficie totale des bas-fonds inventoriés dans le département l'Atacora et la Donga. Ce pourcentage représente 6,33 % de la superficie du potentiel en bas-fonds inventorié par la méthode semi-automatique, soit 42,52 % du potentiel en bas-fonds aménageables.

4.4 Caractéristiques des bas-fonds identifiés

Sur la base du découpage phytogéographique, de la topographie et de la géologie trois typesde bas-fonds ont été ressortisà savoir les bas-fonds des massifs atacoriens (BFMA), les bas-fonds de la pénéplaine ondulée (BFPO) et les bas-fonds de la plaine gourma (BFPG).

- les bas-fonds des massifs atacoriens (BFMA) se trouvent dans des vallées étroites, situés à des altitudes comprises entre 407 et 667 m où les versants sont raides à pente forte et convexe. D'une superficie de 83879,09 ha (figure 12), ils présentent des pentes transversales et longitudinales inférieures ou égales à 4 %, se trouvent sur des roches dures telles que les quartzites micaschistes et se caractérisent par deux types de sols (sols minéraux et sols ferrugineux tropicaux). Le réseau hydrographique est dense. Ils reçoivent une pluviométrie moyenne annuelle de1215 mm et une température moyenne annuelle de l'ordre de 28,6°C.

http://dx.doi.org/10.22161/ijeab/2.4.20 *ISSN: 2456-1878*

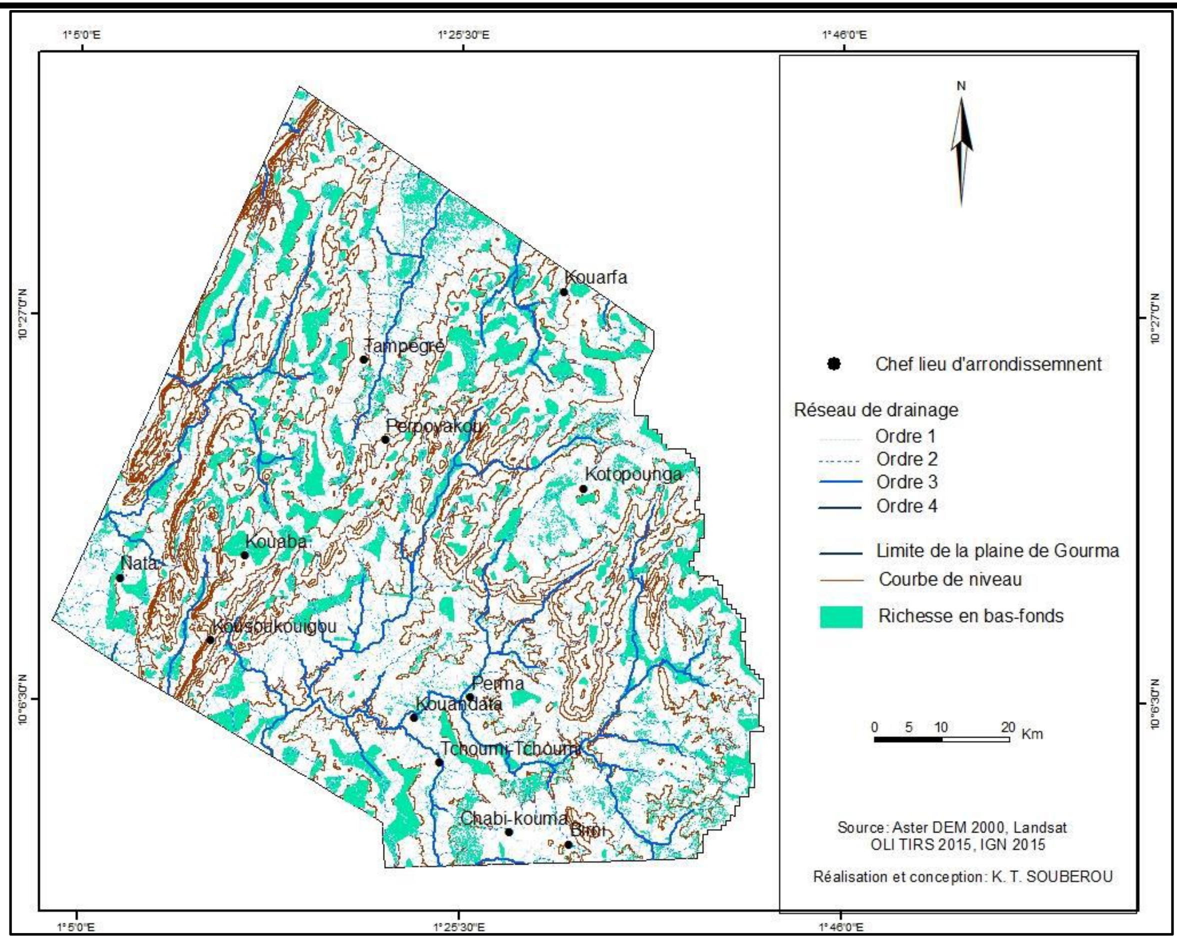


Fig.12: Bas-fonds des massifs atacoriens (BFMA)

- les bas-fonds de la pénéplaine ondulée (BFPO) quant à eux, sont localisés dans des vallées situées à des altitudes comprises 295 entre 406 m, se caractérisent par des versants modérément raides et concaves et des fonds de vallées intermédiaires et peu profonds. Les formations géologiques sont quartzites micaschistes, gneiss à muscovites, orthgneiss à biotite (gneiss à biotite et à amphibole), roche basique et granites syntectoniquesCalco-alcalins. Le secteur de la pénéplaine ondulée renferme 29, 45 % des bas-fonds du bassin versant de l'Oti (figure 13) sous une pluviométrie de 1100 à 1300 mm. La topographie et le fonctionnement hydrologique (liés aux divers affluents) caractérisent chaque bas-fond.

http://dx.doi.org/10.22161/ijeab/2.4.20 ISSN: 2456-1878

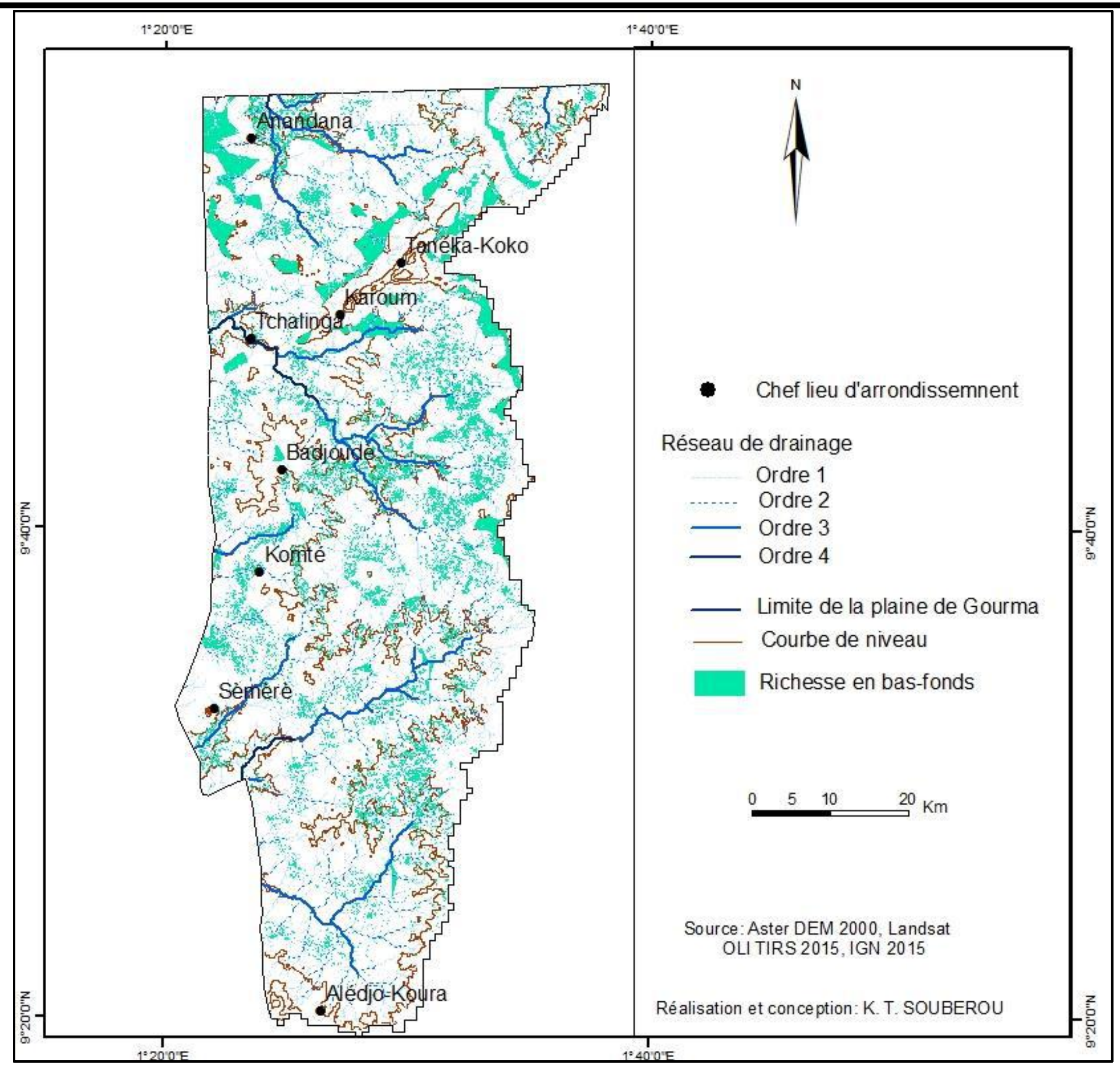


Fig.13 : Bas-fonds de la pénéplaine ondulée (BFPO)

- les bas-fonds de la plaine gourma (BFPG) se trouvent dans des vallées larges situées à des altitudes comprises entre 118 et 294 m où les versants sont doux à pente faible et concave et des fonds de vallées larges. Le régime pluviométrique est monomodal avec une pluviosité atteignant parfois 1300mm. C'est le secteur des bas-fonds plats, larges et de grandes superficies (figure 14). Ils présentent des pentes transversales et longitudinales inférieures ou égales à 2 % et se trouvent sur des formations relativement tendres telles que les schistes de l'Oti, grès de Bombouaka, grès, grès-quartzites, schistes séricitoschistes, schistes et micaschistes. Les caractéristiques des sols sont très diversifiées comme dans les bas-fonds de la pénéplaine ondulée et se résument aux sols minéraux lithiques et aux sols ferrugineux tropicaux. Le régime d'écoulement y est saisonnier et irrégulier.

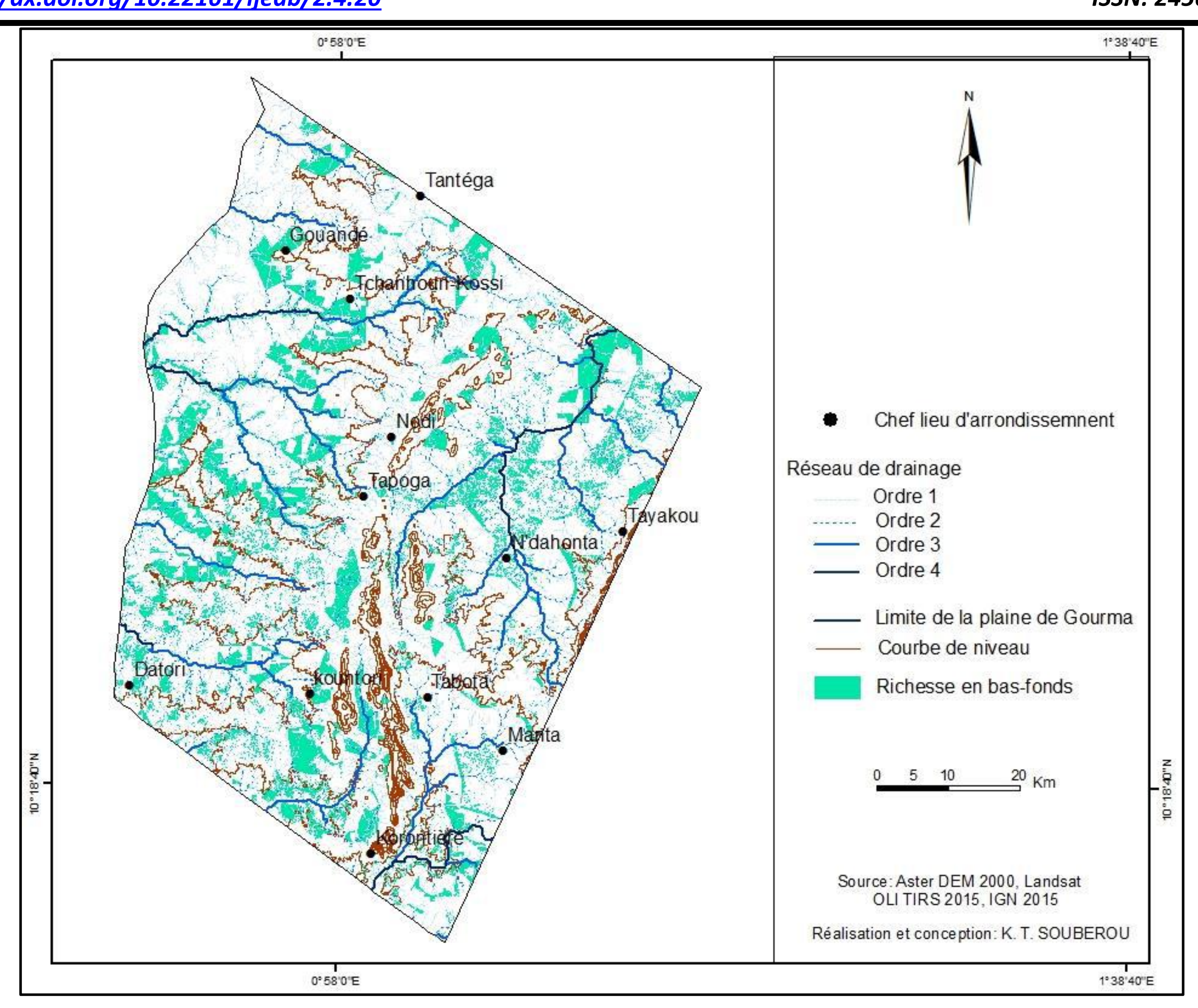


Fig.15: bas-fonds de la plaine gourma (BFPG)

Ces différents bas-fonds identifiés sont liés aux axes de drainage et fonctionnent plus en saison pluvieuse qu'en période sèche. Cette classification basée sur les caractères phytogéographique, topographique et géologique est présentée en annexe avec plus de détails. Le code assigné à chaque bas-fond est fonction de son identifiant et le nom du village dans lequel il se localise dans l'ordre alphabétique respectivement pour l'arrondissement, la Commune et le département auxquels il appartient.

L'exploitation de ces bas-fonds revêt un intérêt important pour l'agriculture essentiellement de type pluvial au sud du bassin versant de l'Oti. Si le potentiel agricole des bas-fonds identifiés dépend bien du milieu, l'usage qu'en font les producteurs n'en est pas le produit direct des résultats de cette étude. Les modes d'exploitation sont diversifiés, évoluent dans le temps et tentent de répondre au mieux aux besoins de la reproduction économique et sociale familiale. Ces bas-fonds qui peuvent moyennant des aménagements hydroagricoles, porter des cultures permanentes et intensives. Raison pour laquelle, ces bas-fonds ont été généralement exploités les quatre derrières décennies parce qu'ils constituent une réponse à certains phénomènes physiques et à la pression foncière croissanteau sud du bassin de l'Oti au Bénin.

V. DISCUSSION

L'absence d'une base référentielle sur les bas-fonds rend difficile le choix des bas-fonds à aménager et répétitives l'identification ainsi que les études de caractérisation des bas-fonds (pré-diagnostic). Comme l'ont montré Clément et al. (2008), l'élaboration de tout programme de mise en valeur de bas-fonds nécessite une bonne connaissance de leurs localisations, de leurs caractéristiques morphologiques et hydrologiques, de leurs statuts fonciers et de leur utilisation actuelle. Malheureusement, le potentiel en bas-fonds de tous les Départements du Bénin demeure encore très peu connu malgré les informations disponibles grâce aux efforts des projets et structures de développement intervenant sur la problématique des bas-fonds. Ce constat a valu une plus grande implication des structures de recherche avec les partenaires techniques pour la mise en place d'un Atlas des bas-fonds au nord-ouest du Bénin en 2015-2016, toujours à partir de la méthode de terrain. La superficie totale des bas-fonds recensés est estimée à 46 264 ha pour les départements de

http://dx.doi.org/10.22161/ijeab/2.4.20 ISSN: 2456-1878

l'Atacora-Donga contre respectivement 78 000 ha (Cellule Bas-Fonds, 2011) et 56 000 ha selon les statistiques du CBF/DGR (2002). La liste jusque-là n'est pas exhaustive vue la richesse en bas-fonds du champ de l'étude. La mise en évidence du potentiel en bas-fonds à partir des données de terrain possède des limites au niveau de la méthodologie pour le recensement effectif et la caractérisation de ces zones. Elle nécessite un travail complémentaire de prospection de bas-fonds potentiels à partir des données satéllitalesqui permettra d'obtenir une cartographie plus précise en vue d'une prise de décision et de gestion efficiente, intégrée et durable de ces agroécosystèmes.

L'inventaire des bas-fonds à partir des données de la télédétection a fait l'objet de plusieurs travaux de recherches au cours de ces deux dernières années. L'un des objectifs de cette recherche est de ressortir la richesse en bas-fonds disponibles à partir des images issues de la télédétection et sur la base des critères bien définis en suivant la méthode de traitement automatique élaborée et assistée par l'ordinateur.

L'approche d'inventaire par télédétection et SIG utilisée dans cette étude au sud du bassin versant de l'Oti, s'est révélée plus rapide, moins fastidieuse et efficace pour ressortir le potentiel en bas-fonds et par ricochet aménageables que l'approche d'inventaire par relevé de terrain. Cette analyse confirme les conclusions tirées par Chabi et *al.* (2010) dans une étude d'inventaire des bas-fonds au centre du Bénin. L'estimation du potentiel en bas-fonds aménageables a pris en compte trois critères d'identification à savoir la pente, le NDVI et la superficie inférieure ou égale à 25 ha dans le cadre des travaux de recherche de Chabi et *al.* (2010). En plus de ces trois critères, Souberou (2013) a ajouté le critère de zones d'accumulation d'eau dans le bassin versant pour spatialiser le potentiel en bas-fonds de la Commune de Matéri au nord-ouest du Bénin. L'ajout de ce quatrième critère d'identification des bas-fonds à la méthode d'inventaire a permis de rendre la technique plus efficace. Les résultats de cette analyse concordent avec ceux de Hubert-Moy et *al.* (2006). Ceux-ci soutiennent que les conditions géomorphologiques et hydrologiques se positionnent comme les deux aspects les plus déterminants dans la répartition des zones humides. Ce critère complété dérivé du modèle numérique de terrain (MNT) constitue le produit de base sur lequel Kindjinou (2013) a appliqué l'algorithme de caractérisation des bas-fonds de Linsoussi (2012) afin d'extraire le réseau hydrographique et de détecter les zones potentielles de bas-fonds au Togo. Cette technique est similaire, mais le critère NDVI n'a pas été pris en compte dans son étude, alors que la végétation est un facteur primordial dans l'identification des bas-fonds.

Dans la présente étude, ces critères (pente, NDVI, zones d'accumulation d'eau,) ont été complétés par deux indices de végétation Normalized Différence Water Index (NDWI) et : Tasseled-cap Wetness Index (TWI) pour parfaire la méthode d'identification du potentiel en bas-fonds développée en 2013 par Souberou et *al.* (2016). Le choix de ces critères confirme ceux utilisés par Thenkabail (2013) dans l'étude de caractérisation des zones humides de bas-fonds en Afrique (inlandvalleywetland of Africa) en utilisant la télédétection notamment au Ghana, au Benin, au Mali, en Côte d'Ivoire, au Mozambique, au Zimbabwe et au Botswana . Ces critères ont permis de faire une esquisse de ces zones par la méthode semi-automatique utilisée.

Cette méthode d'identification explorée dans ce travail pour la réalisation de la carte de potentialité en bas-fonds a permis de répertorier tous les bas-fonds au sud du bassin versant de l'Oti (359 894,92 ha) et d'en ressortir ceux facilement aménageables dont la superficie inférieure ou égale à 25 ha (53 588,06). Ces bas-fonds identifiés peuvent déjà faire l'objet d'une mise en valeur car ils présentent des caractéristiques hydrologiques et morphologiques qui correspondent aux critères de mise en valeur proposés par le DIARPA (Windmeijer et*al.*,2002 cités par Chabi et *al.*, 2010).

A la lumière des résultats obtenus, il paraît évident que l'usage de l'imagerie de Landsat (ETM+, OLI TIRS) combiné à l'image ASTER DEM peut être indiqué pour les études d'identification des zones humides de bas-fonds. Cette analyse corrobore celle de Thenkabail (2013) qui a utilisé des images issues de la télédétection telle que Landsat ETM+, SRTM, Ikonos et Modisdans l'identification des zones humides des grands bassins hydrographiques de l'Afrique. Cette méthode complétée est facile à mettre en œuvre d'un point de vue informatique et offre une multitude d'outils d'aide à l'interprétation des données. Elle a permis d'obtenir des résultats satisfaisants et s'est montrée plus rapide que l'approche classique qui consiste à aller directement sur le terrain pour faire des levés directs et plus systématique et qui nécessiterait plus de temps, de coût et de moyen surtout si l'espace à couvrir est plus étendu. La cartographie des bas-fonds en utilisant des données de la télédétection apparaît comme un atout majeur pour la sélection des bas-fonds propice pour la mise en place des systèmes rizicoles. Ce résultat confirme ceux de Gumma et *al.* (2009) qui ont montré que les données issues de la télédétection et les outils et techniques SIG fournissent une bonne plate-forme pour générer, intégrer, traiter et analyser les informations.

L'inventaire du potentiel en bas-fonds par la télédétection et le Système d'Information Géographique bien que adéquat et fiable, nécessite l'utilisation des images de très

http://dx.doi.org/10.22161/ijeab/2.4.20 ISSN: 2456-1878

grande résolution pour une validation exacte des zones potentielles en bas-fonds en dehors des points de géolocalisation. La carte de localisation géographique de ces bas-fonds est un instrument d'aide et intervient en amont de toutes interventions des acteurs de développement (nationaux ou internationaux) pour la réalisation des ouvrages d'aménagement hydro-agricoles afin de contribuer à leur mise en valeur dans ce contexte de changements climatiques.

Au sud du bassin versant de l'Oti, la caractérisation des bas-fonds identifiés a permis de mettre en évidence trois types (bas-fonds des massifs atacoriens, de la pénéplaine ondulée et de la plaine gourma) en fonction de la localisation dans la zone phytogéographique, de la topographie et de la géologie. Ces bas-fonds importants pour la production agricole, sont exploités par la mise en place des systèmes de cultures diversifiées

VI. CONCLUSION

L'inventaire des bas-fonds par la méthode semi-automatique a combiné les indices de végétation (NDVI, NDWI, TWI) et les paramètres (pentes et accumulation d'eau). L'analyse de ces critères d'identification a permis de montrer le potentiel en bas-fonds et facilement aménageables au sud du bassin versant de l'Oti. Ce potentiel de bas-fonds aménageables représente environ 6,67 % de la superficie totale de la zone d'étude. Les points GPS prise sur le terrain ont permis de valider les bas-fonds inventoriés. A la suite de la superposition des deux couches, 271 sur les 326 points projetés correspondent aux bas-fonds aménageables inventoriés, soit un taux de conformité de 83,13 %. Et d'autre part, le coefficient de corrélation entre le nombre de pixels des bas-fonds trackés et le nombre de pixels contigus est 58,68 %. Il a permis vérifier l'exactitude des bas-fonds inventoriés par la méthode de traitement d'image et d'affirmer que le niveau de fiabilité des résultats est bon. Au cours de la période 2015-2016, l'Organisation Non Gouvernementale Internationale "Protos" et la Coopération Technique Belge ont inventorié le potentiel en bas-fonds des départements de l'Atacora et de la Donga, au total, 342 bas-fonds couvrant une superficie de à 36 264 ha sont identifiés au sud du bassin versant de l'Oti. Ce potentiel inventorié par la méthode de terrain est estimé à 6,33 % de la superficie des bas-fonds recensés par traitement des images satellitales, soit 42,52 % du potentiel en bas-fonds aménageables. Cet inventaire reste donc incomplet car la liste des bas-fonds n'a pas été exhaustive. Si l'on considère, les données issues de la télédétection, il est possible d'identifier les bas-fonds de tout le bassin de l'Oti (Volta) au Bénin et de caractériser plus finement les autres zones humides (mares, marais, etc.) en utilisant des images de meilleures résolutions spatiales et spectrales comme cela a été déjà exploré dans plusieurs pays avec des démarches relativement complexes. Il faut alors retenir qu'une meilleure connaissance des bas-fonds (inventaire plus exhaustif) exige la disponibilité des données de très bonnes factures et doit s'appuyer sur une bonne méthodologie pour la constitution d'un répertoire fiable qui ressortira les caractéristiques des bas-fonds en vue d'une mise en valeur efficiente afin deservir d'outil d'aide à la décision pour tout acteur voulant intervenir dans les bas-fonds au sud du bassin versant de l'Oti.

Les résultats mis en exergue dans cet article sont probants pour la résolution utilisée. La caractérisation des bas-fonds inventoriés par traitement numérique a permis de les classer en trois types à partir de la zone phytogéographique dans laquelle ils se retrouvent, du critère de la topographie et de la géologie. Il s'agit des bas-fonds des massifs atacoriens (BFMA), les bas-fonds de la pénéplaine ondulée (BFPO) et les bas-fonds de la plaine gourma (BFPG). L'exploitation de ces bas-fonds, ces trois dernières décennies, est devenue de plus en plus inévitable, car ils occupent une place de choix dans les systèmes de production (rizicole, maïsiculture, etc.) au sud du bassin versant de l'Oti au Benin notamment dans ce contexte de changements climatiques

REFERENCES

[1] Adjanohoun, E.J., V. Adjakidjè, M.R.A. Ahyi, A.L. Ake, A. Akoegninou, J. d'Almeida F. Akpovo, K. Bouke, M. Chadar, G. Cusset, K. Dramane, J. Eyme, J.N. Gassita, N. Gbaguidi, E. Goudoté, S. Guinko, P. Houngnon, L.O. Issa, A. Keita, H.V. Kiniffo, D. Kone-Bamba, A. MusampaNseyya, M. Saadou, Th. Sodogandji, S. de Souza, A. Tchabi, C. Zissou Dossa et Th. Zohoun, 1989 : Contribution aux études ethnobotaniques et floristiques en République Populaire du Bénin. Médecine traditionnelle et pharmacopée. ACCT, 895p.

[2] Aurousseau, P. et H. Squividant, 1995 : Rôle environnemental et identification cartographique des sols hydromorphes de bas fonds. *Ingénierie EAT*, numéro spécial "La rade de Brest", p 75-85.

[3] CBF, 1995 : La caractérisation des agro-écosystèmes de bas-fonds : un outil pour la mise en valeur durable, Actes du premier atelier scientifique, 1995. 26p.

[4] CBF/DGR, 2002 : Inventaire et mise en valeur des bas-fonds au Bénin, Direction du Génie Rural (DGR)/ MAEP, Porto-Novo-Bénin, 69 p.

[5] CETE Nord-Picardie, 2009 : *Pour comprendre le présent et construire un avenir durable*. Atlas des zones de ruissellement de l'Oise, Méthodologie de

construction des données, DDE60 / SAUE, 13 p. www.oise.equipement.agriculture.gouv, consulté le 18/03/2013 à 23h 38 mm

[6] Chabi, A., J. Oloukoi, V.J. Mama, P. Kiepe, 2010: Inventaire par télédétection des agro-écosystèmes de bas-fonds dans le centre du Benin. CahAgric, vol. 19, N° 6, 446-453.

[7] Clément, B., l. Hubert-Moy et S. Rapinel, 2008 : *Évaluation des fonctions des zones humides à partir de données de télédétection à très haute résolution spatiale. Application expérimentale à la Basse Vallée de la Dordogne*. Rapport technique, EPIDOR, 92 p.

[8] Davranche, A., 2008: Suivi de la gestion des zones humides camarguaises par télédétection en référence à leur intérêt avifaunistique. Ecole doctorale : Espaces, cultures, sociétés, 235 p.

[9] Djaufack, M.V., 2011: Étude multi-échelles des précipitations et du couvert végétal au Cameroun : Analyses spatiales, tendances temporelles, facteurs climatiques et anthropiques de variabilité du NDVI. Thèse pour l'obtention du grade de Docteur en Géographie (option Climatologie) de l'Université de Bourgogne et de l'Université de Yaoundé, 303 pages.

[10] Gumma, M., P.S. Thenkabail, F. Hideto and R. Namara, 2009 : A Spatial Model for Selecting the Most Suitable Areas of rice Cultivation in the Inland Valley Wetlands of Ghana using Remote Sensing and GIS. Applied Remote Sensing Journal (in review).

[11] Houhoulls, P.F. etW.K., Michener, 2000: Detecting wetland change: a rule-based approach using NWI and SPOT-XS data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 66, n° 2, p. 205-211

[12] Houinato, M., C. Delvaux and L. Pauwels, 2000: Les Eragrostis (Poaceae) du Benin. *Belgian Journal of Botany*, 133 (2): 21-35.1-

[13] Idieti, E. M., 2012 : Les hydro-écorégions du Bassin de la Pendjari au Bénin : Analyse des déterminants socio-économiques et environnementaux de la dynamique des écosystèmes naturels. Thèse de doctorat de géographie. Université d'Abomey-Calavi, 229 p.

[14] INSAE [Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique], 2014 : Résultats provisoires du recensement général de la population et de l'habitation. (RGPH4). Cotonou, 47 p.

[15] Jamin, J.Y., F. Biaou, J.C. Legoupil, B. Lidon, 2002 : Le Diagnostic Rapide de Pré-Aménagement (DIARPA) : un outil d'aide à la décision pour les aménagements de bas-fonds. In : Mémento de l'agronome, Paris, Montpellier : Gret, Cirad, 2002, (cédérom).

[16] Kindjinou, A. T., 2013 : Cartographie des bas-fonds à l'aide de la télédétection et des données secondaires et intensification culturale au Togo. Master of science en Géo-Information et ses applications à la gestion intégrée des eaux et des écosystèmes (GAGIEE) au chaire internationale en physique mathématique et applications, (CIPMA - chaire UNESCO), FAST/UAC, 80p.

[17] Legoupil, J.C., B. Lidon, F. Blanchet et J.Y Jamin, 2000 : Mise en valeur et aménagement des bas-fonds d'Afrique de l'Ouest : proposition d'un outil d'aide à l'aménagement. *Le diagnostic rapide de pré-aménagement (DIARPA), Synthèse des résultats du Cirad et de ses partenaires sur la caractérisation des bas-fonds et l'intensification de leur mise en valeur*, Bouaké, (cédérom).

[18] Leroux, L., 2012 : Analyse diachronique de la dynamique paysagère sur le bassin supérieur de l'Ouémé (Bénin) à partir de l'imagerie Lansat et MODIS- Cas d'étude du communal de Djougou. Hydrosciences Montpellier, ANR ESCAPE, Rapport 2012, 62p.

[19] Linsoussi, C., 2012: personal communication. Algorithm for characterizing inland valley systems using a digital elevation model (DEM) 2012.

[20] Mahaman, M., et P.N., Windmeijer, 1995 : Exemple d'utilisation d'un système d'information géographique pour la caractérisation agro-écologique multi-échelle des bas-fonds, *In Jamin J.Y., Windmeijer P. N. (eds), La caractérisation des agroécosystèmes de bas-fonds : un outil pour leur mise en valeur durable*, Actes du 1er Atelier scientifique du Consortium Bas-fonds, ADRAO, Bouaké, Côte d'Ivoire, 8-10 juin 1993, IVC/CBF, 191-202p.

[21] MEMORIS,2011 : Guide méthodologique. Réalisation de la base de données d'occupation du sol (Bd-OCS2007) sur la région Alsace et les Parcs Naturels Régionaux des Vosges du Nord et des Ballons des Vosges. Lot 4 *: Interprétation des zones à dominante humide en 2007*. Rapport technique, société MEMORIS, 60 p. + annexe.

[22] OBEMINES, 1989 : Notice explicative de la Géologie à 1/200 000. Bénin, 77 p + carte

[23] Oloukoi, J., 2005 : Dynamique de l'occupation du sol dans le département des collines et impacts sur l'utilisation des bas-fonds. Mémoire de Diplôme d'Etude Approfondie (DEA), UAC, 84pOuorou

http://dx.doi.org/10.22161/ijeab/2.4.20 ISSN: 2456-1878

Barre I. F., 2014. Contraintes climatiques, pédologiques et production agricole dans l'Atacora (Nord-Ouest du Benin). Thèse de doctorat unique, EDP/FLASH, UAC, 241 p.
[24] Rapinel, S., 2012 : *Contribution de la télédétection à l'évaluation des fonctions des humides: de l'observation à la modélisation prospective*. Thèse de l'Université de Bretagne, 384 p.
[25] RNI, 2008 : Rapport National d'Investissement au BENIN, Conférence de Haut Niveau sur : L'eau pour l'agriculture et l'énergie en Afrique: les défis du changement climatique, Syrte, Jamahiriya Arabe Libyenne, 15-17 décembre 2008,
[26] Souberou, K.,J. Oloukoi et E. Amoussou, 2016: Cartographie du potentiel en bas-fonds aménageablesde la commune de Materi au Benin,
[27] Souberou, K., 2013 : Contribution de la télédétection et du SIG à la caractérisation des bas-fonds de la commune de Matéri (Nord Ouest, Bénin). Mémoire de Master en Science de la Géo-Information, Université d'ObafèmiAwolowo au Nigéria, Centre Régional de Formation aux Techniques des Levés Aérospatiaux (RECTAS), 135p.
[28] Thenkabail, P. S., 2013: Remote Sensing of Inland Valley Wetlands of Africa : their Pivotal Role in Africa's Green and Blue Revolution, Research Geographer (pthenkabail@usgs.gov), U.S. Geological Survey (USGS), Flagstaff Science Center, USA NASA LCLUC Meeting, Rockville, Maryland, USA. April 2-4, 2013
[29] WHYCOS [Système mondial d'observation du cycle hydrologique], 2006 : Document de Projet VOLTA-HYCOS, S/Composante du projet AOC-HYCOS, Organisation Météorologique Mondiale (OMM), septembre 2006, 157 p.
[30] Windmeijer, P. N., M.J. Dugue, J.Y. JAMIN et N.Van de Giesen, 2002 : Describinghydrologicalcharacteristics for inlandvalleydevelopment » in *Proceedings of the Second Scientific Workshop of the InlandValley*, Consortium/Présentation des caractéristiques hydrologiques de la mise en valeur des bas-fonds, Compte rendu du Deuxième Atelier Scientifique du Consortium Bas-fonds, Bouaké, 2002.

ANNEXE

Tableau.II : Typologie des bas-fonds au sud bassin béninois de l'Oti

Zone phytogéographique 1		**Soudanienne (ZPS)**	
Climat	Saisons	une saison sèche et une saison pluvieuse	
Pluviométrie	Régime	monomodal	
	Moyenne annuelle	927 - 1255 mm	
Température moyenne annuelle		18,45 (minimal) -34,58 (maximale)	
Végétation	NDVI	(-) 0,672-0,791	
	Unités d'occupation du sol	Forêt claire et savane boisée, forêt galerie, savane arborée et arbustive et mosaïque de culture et jachère	
Types de vallées		Versants raides à pente forte et convexes et fonds de vallées étroites parfois engorgés	Versants à pente faible (douce) et concave et fonds de vallées larges
Types de Bas-fonds (BF)	**Identifiant**	**1 : BFMA**	**2 : BFPG**
	Code	Le code du bas-fond est donné en tenant du nom du village dans lequel il se localise dans l'ordre alphabétique respectivement pour l'arrondissement, commune et département	
		1 (identifiant) 2 (Département)…(Commune)…(Village)…(bas-fond)	2 (identifiant) 2 (Département)… (Commune)… (Village)… (bas-fond)

http://dx.doi.org/10.22161/ijeab/2.4.20 ISSN: 2456-1878

	Superficie	83579,09 ha					170305,91 ha		
Topographie	Unité morphologique	des massifs atacorien (UMMA)					de la plaine de Gourma (UMPG)		
	Altitudes	406,63 -667 m					118-294,55 m		
	Pente	comprise entre 0 et 4 %, prise en compte des bas-fonds où les pentes transversales et longitudinales sont inférieures ou égale à 2 %					Inférieure ou égale à 2 %		
Géologie (Socle sédimentaire précambrien de la volta)		Quartzites micaschistes					Schistes de l'oti, grès de Bombouaka, Grès, grès quartzites, schistes Séricitoschistes, schistes et micaschistes		
Réseau de drainage	Ordre des cours d'eau	1, 2, 3 et 4 selon la classification et hiérarchisation de Strahter (1952) Le régime d'écoulement est saisonnier et irrégulier.							
	Zones d'accumulation d'eau	Valeur comprise entre 7 à 1728							
Pédologie	Types de sols	Sols minéraux bruts	Sols ferrugineux tropicaux : sols sesquioxydes de fer et manganèse				Sols minéraux bruts	Sols ferrugineux tropicaux : Sols sesquioxydes de fer et manganèse	
	Caractéristique	Peu évolués lithiques : sur quartzite et miscaschiteatacorien	Peu lessivés : sur quartzite et miscaschite atacoriens, sur du gneiss à muscovite,	Hydromophes lessivés sans concrecation : sur quartzite atacoriens et sur miscaschiste granité	Hydromorphes : sur matériau colluvia-sableux et sablo-argileux , sur roche basique	Hydromorphes lessivés à concrécation : sur matériau kaolinique issus de quartzite et micaschite	Peu évolués hydromophes: sur matériau alluvial finement sableux et sur alluvio-colluvial limono-argileux	Hydromorphes lessivés sans concrécation : sur micaschites et schites quartzeux de Buem	Hydromorphes lessivés à concrécation : sur schiste quartzeux de Buem, sur schiste en plaquette, sur matériau colluvial issu du jaspe
		Limono-sableuse avec 16,13 % d'argile, 31,62	limono-argilo-sableuse en surface sur argile, en profondeur avec 28,8 % de sable à la surface, 45,58 % d'argile et 22,16 % de limon				Limono-sableuse, avec 16,13 % d'argile, 31,62 % de limon et 54,39 % de	limono-sableuse à limono-argilo-sableuse, avec 18,20 % d'argile, 22,45 % de limon et 56,96 % de sable	

http://dx.doi.org/10.22161/ijeab/2.4.20 *ISSN: 2456-1878*

		% de limon et 54,39 % de sable			
Type d'aménagements hydroagricoles mis en place		Confession des digues de protection (Cordons pierreux) perpendiculaires au sens d'écoulements de l'eau; Confection des diguettes isohypses (principales et secondaires) en terre compactés enherbés ou en pierres sèches de rétention, équipés d'ouvrages de vidanges ou d'un chenal central; Implantation de bandes enherbées de vétivers (réduction du ruissellement)			
Principales cultures		Riz, mais, sorgho, mil, mil, igname, manioc, fonio et les cultures de contre saison			
Zone phytogéographique 2		**Guinéo-soudanien (ZPGS)**			
Climat	Saisons	une saison sèche et une saison pluvieuse			
Pluviométrie	Régime	monomodal			
	moyenne annuelle	927 -1255 mm			
Température moyenne annuelle		20,12 -31,41			
Végétation	NDVI	(-) 0,672-0,791			
	Unités d'occupation du sol	Forêt claire et savane boisée, forêt galerie, savane arborée et arbustive et mosaïque de cultures et jachères			
Types de vallées		Versants modérément raides et concaves et fonds de vallées intermédiaires et peu profonds			
	Identifiant	**3 : BFPO**			
Types de Bas-fonds (BF)	Code	3 (identifiant) 7 (Département)…(Commune)…(Village)…(bas-fond)			
	Superficie	106009,92 ha			
Topographie	Unité morphologique	de la pénéplaine ondulée (UMPO)			
	Altitudes	294,56-406,62 m			
	Pente	comprise entre 0 et 4 %, prise en compte des bas-fonds ayant des pentes transversales et longitudinales inférieures ou égales à 2 %			
Géologie (Socle sédimentaire précambrien de la volta)		Quartzites micaschistes ; gneiss à muscovites constitué de roches claires : orthgneiss à biotite (gneiss à biotite et à amphibole) ; roche basique ; granites syntectoniquesCalco-alcalins ;			
Réseau de drainage	Ordre des cours d'eau	1, 2, 3 et 4 selon la classification et hiérarchisation de Strahter (1952) Le régime d'écoulement est saisonnier et irrégulier			

http://dx.doi.org/10.22161/ijeab/2.4.20 ISSN: 2456-1878

	Zones d’accumulation d’eau	Valeur comprise entre 7 à 1728			
Pédologie	Types de sols	Sols ferrugineux tropicaux : sols sesquioxydes de fer et manganèse			
	Caractéristique	Peu lessivés: sur gness à muscovite, sur granito-gneiss à biotite, sur roche basique, sur matériau kaolinique et sur matériau issu de gneiss à deux miscaschites	Hydromorphes : sur gneiss à ferro-magnésiens, sur gneiss à muscovite et micas, sur Schites en plaquette, sur matériau colluvial-sableux et sablo-argileux, sur roche basique	Hydromorphes lessivés sans concrécation : sur micaschites et schites quartzeux de Buem, sur micaschites granité	Hydromorphes lessivés à concrécation : sur matériau kaolinique issus de quartzite et micaschite
		De texture limon sable sur limon-argilo-sableux à argilo-sableux, composé de 11,03 % d’argile, 29,90 % de limon et 58,1 % de sable	limono-argilo-sableuse en surface sur argile, en profondeur. L’analyse granulométrique montre qu’il s’agit d’un sol à texture argileuse pure avec 28,8 % de sable à la surface, 45,58 % d’argile et 22,16 % de limon		
Type d'aménagements hydroagricoles mis place		Confession des digues de protection (Cordons pierreux) perpendiculaires au sens d'écoulements de l'eau; Confection des diguettes isohypses (principales et secondaires) en terre compactés enherbés ou en pierres sèche de rétention, équipés d'ouvrages de vidanges ou d'un chenal central; Implantation de bandes enherbées de vétivers (réduction du ruissellement)			
Principales cultures		Riz, mais, sorgho, mil, mil, igname, manioc, arachide et les cultures de contre saison			